№ 8. Warszawa, 25 sierpnia 1934 r. Rok XII.

TECHNIKA CIEPLNA

CZASOPISMO STOWARZYSZENIA DOZORU KOTŁÓW W WARSZAWIE

OFICJALNY ORGAN POLSKIEGO KOMITETU NORMALIZACYJNEGO DLA SPRAW KOTŁOWYCH

REDAKTOR: Inż. techn. JAN KOMARNICKI.

Wydawca: Stowarzyszenie Dozoru Kotłów w Warszawie.

REDAKCJA I ADMINISTRACJA: WARSZAWA, PIUSA XI 32, m. 2. TEL. 8-25 04.

GODZINY BIUROWE: ADMINISTRACJI — CODZIENNIE, OD 10 DO 15.

Inż. EUGENJUSZ WOLNIEWICZ i *Inż. ADAM EMIL SIERZPUTOWSKI.*

O NOWOCZESNYCH SPOSOBACH POMIARU TEMPERATURY.

(Por. *Technika Cieplna*, str. 116, 1934 r.).

Sposoby rachunkowe.

1. Uważając krzywą termopary za stałą dla wszelkich wartości temperatury zimnych spojeń, poprawkę na zmianę tej temperatury z t_o na t'_o otrzymujemy z wzoru następującego:

$$\Delta t = \frac{\left(\frac{dE}{dt}\right)_{t_o}}{\left(\frac{dE}{dt}\right)_t} \cdot (t'_o - t_o) = c \, . \, \Delta t_o \quad . \quad . \quad (27)$$

Wartość c zależnie od kształtu krzywej waha się od 0,3 do 1,5. Dla wykresu w postaci linji prostej $c = 1$. Z niedużem odchyleniem ma to miejsce w termoparach żelazo-konstantan i nikiel-nikielchrom. Dla mniej dokładnych pomiarów można więc dla tych termopar, ilość stopni o którą się podniosła temperatura zimnych spojeń, dodawać poprostu do temperatury, znalezionej z odczytu na galwanometrze. Dla termopary $Pt - PtRh$ poniżej 1000 C, $c \simeq 0{,}5$. Poniżej zestawione są wartości dla niektórych termopar.

Tabela 2

Pt — PtRh		Miedź-konstantan		Żelazo-konstantan		Chromel-alumel	
Temp. °C	c	Temp. °C	c	Temp. °C	c	Temp. °C	c
250 — 400	0,60	0 — 50	1,00	0 — 100	1,00	0 — 800	1,00
400 — 550	0,55	50 — 70	0,95	100 — 600	0,95	800 —1000	1,05
550 — 900	0,50	80 — 110	0,90	600 —1000	0,85		
900 —1450	0,45	110 — 150	0,85				
		150 — 200	0,80				
		200 — 270	0,75				
		270 — 350	0,70				

Liczby podane wyżej nie są ściśle i zmieniają się nieco z materjałem drutów.

Na rys. 12 przedstawione są krzywe zmiany spółczynnika „c" z temperaturą gorącego spojenia dla różnych termoelementów w obszarze temperatury zimnych spojeń 20 ÷ 60 C.

2. Jeśli galwanometr jest wywzorcowany w milivoltach znajdujemy na wykresie wartość ΔE, odpowiadającą przyrostowi temperatury zimnych spojeń i wartość tę dodajemy do E, odczytanego na galwanometrze, a następnie dla sumy $(E + \Delta E)$ znajdujemy z wykresu temperaturę (rys. 13).

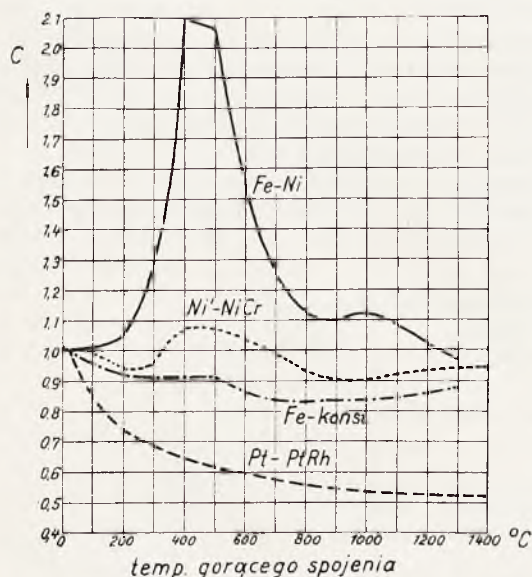
Sposoby mechaniczne.

1. Zmiana zera galwanometru.

Na tej samej zasadzie na jakiej oparty jest rachunkowy sposób pierwszy, opiera się mechaniczny sposób kompensacji polegający na tem, że strzałkę galwanometru, przed rozpoczęciem pomiaru (kiedy przez galwanometr prąd nie płynie) przestawiamy tak, by wskazywała temperaturę Δt_0, jeśli galwanometr wywzorcowany jest w stopniach, wzgl. odpowiadające mu znalezione z wykresu ΔE, gdy galwanometr posiada skalę w mV. Jest to sposób prosty, a jeśli nie znalazł szerszego zastosowania to dlatego, że o konieczności ustawiania strzałki przed pomiarem zazwyczaj się zapomina tembardziej, że ludzie przyzwyczajeni są widzieć w wyłączonym galwanometrze strzałkę na zerze. Trudno jest także stwierdzić, czy galwanometr się nie rozregulował.

2. Automatyczna zmiana zera galwanometru.

Większe zastosowanie znalazły galwanometry z automatyczną zmianą zera. Odbywa się ona w ten sposób, że koniec sprężyny cewki galwanometru połączony jest ze wstę-

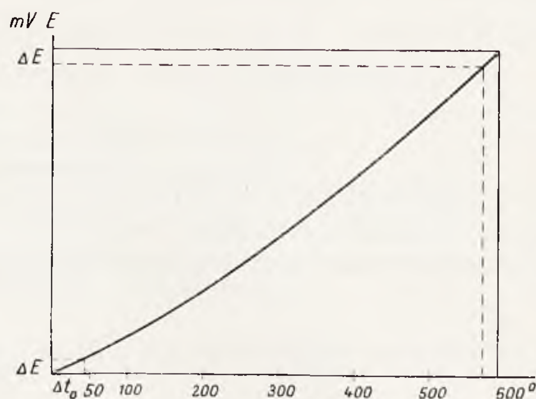


Rys. 12

Zależność poprawki na zimne spojenie od temperatury gorącego spojenia. (Dla temperatur zimnych spojeń od 20° do 60°C).

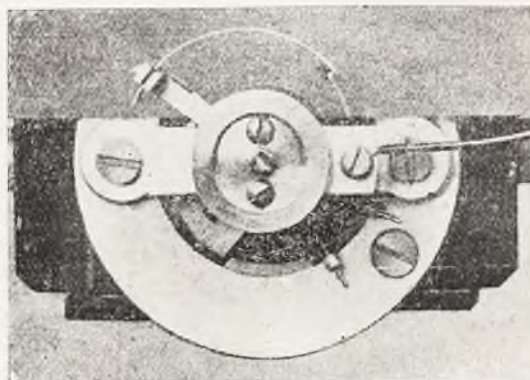
gą bimetaliczną (Darling) skręcającą się pod wpływem zmiany temperatury i powodującą przesuwanie strzałki galwanometru w ten sposób, że gdy prąd przez galwanometr nie płynie, strzałka pokazuje temperaturę otoczenia wzgl. zimnych spojeń (rys. 14).

I tutaj można nie dostrzec rozregulowania galwanometru. Firma Brown Instr. Co. radzi sobie częściowo w ten sposób, że poza sprężyną, poruszającą strzałkę galwanometru, umieszczona jest druga sprężyna bimetaliczna, zakończona strzałką, (termometr bimetaliczny), która każdorazowo wskazuje temperaturę otoczenia wzgl. zimnych spojeń. W wy-

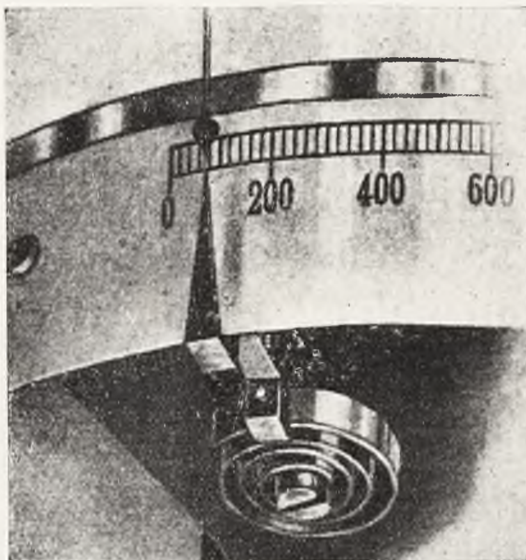


Rys. 13

łączonym galwanometrze obie strzałki powinny stać w jednem miejscu skali (rys. 15).



Rys. 14
Automatyczna zmiana zera galwanometru.

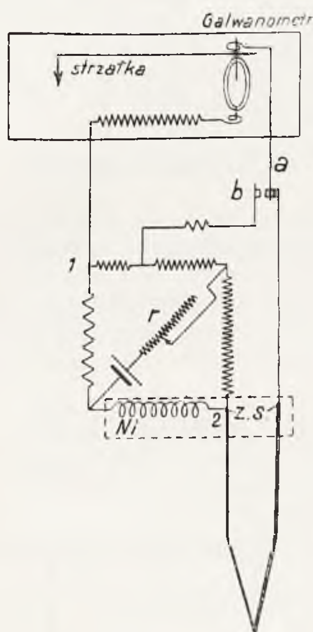


Rys. 15
Galwanometr z automatyczną zmianą zera i z dodatkową wskazówką.

Sposoby elektryczne.

1. Most Wheatstona w obwodzie termopary.

Firma Wilson — Maeulen Co. stosuje urządzenie w którem stratę siły elektromotorycznej na skutek podniesienia się temperatury zimnych spojeń równoważy się wprowadzeniem w obwód termopary dodatkowego napięcia pochodzącego z obcego źródła. Rys. 16 podaje schemat takiego urządzenia. W jedno z ramion obwodu wprowadzony jest most Wheatstona. Trzy ramiona mostu zrobione są z drutu manganinowego, czwarte zaś, znajdujące się w pobliżu zimnych spojeń, zrobione jest z niklu (posiadającego duży spółczynnik zmiany oporu elektrycznego z temperaturą). Jeśli temperatura zimnych spojeń, a więc i oporu



Rys. 16
Most Wheatstona w obwodzie termopary.

niklowego jest normalna (20°C), wówczas most jest w równowadze. Jeśli natomiast temperatura zimnych spojeń wzrośnie, wówczas wzrośnie również opór niklowego ramienia mostu i most zostanie wytrącony z równowagi elektrycznej w ten sposób, że w punktach 1 i 2 mostu powstanie dodatkowa różnica potencjałów, przekazywana na galwanometr, równa stracie napięcia wskutek wzrostu temperatury zimnych spojeń.

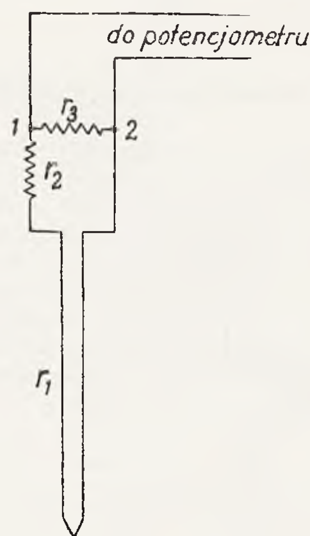
Kompensacja ta jest dobra tylko przy określonej wartości natężenia prądu w moście. Wartość tę należy zawsze wyregulować przed pomiarem w ten sposób, że po włączeniu w obwód galwanometru części oporu manganinowego (na rys. 16 drut *a* łączymy z drutem *b*), regulujemy przy pomocy reostatu *r* prąd dotąd, aż galwanometr wychyli się do określonego miejsca.

Urządzenie to rozpowszechnione dziś dość szeroko w Ameryce, działa dobrze dla wszystkich temperatur gorącego spojenia, wymaga jednak ciągłej kontroli i systematycznego ładowania baterji akumulatorów.

2. Bocznik wobwodzie termopary.

Sposób ten stosowany w Ameryce do mniej dokładnych pomiarów, odznacza się w pierwszym rzędzie prostotą (rys. 17).

Działanie jego polega na tem, że strata siły elektromotorycznej wskutek podniesienia się temperatury zimnych spojeń, kompensowana jest tem, że jednocześnie wzrasta opór drutu niklowego w boczniku r_3, wskutek czego różnica napięć w punktach 1 i 2 pozostaje stała. Urządzenie to jest jednakże dobre tylko



Rys. 17
Bocznik w obwodzie termopary.

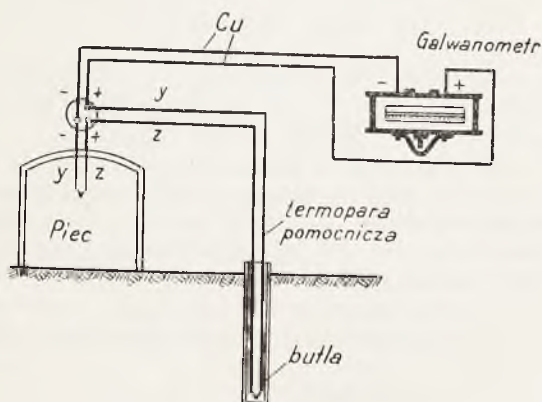
dla jednej temperatury gorącego spojenia. Jeśli ta temperatura waha się o 200°C, a zimnych spojeń o 60°C, to dokładność kompensacji wynosi $\simeq$ 10°C. Dlatego też urządzenie to nadaje się tylko do pomiaru temperatury miejsc regulowanych, gdzie wahania temperatury nie przekraczają $+$ 50°C.

3. Dodatkowa termopara w obwodzie.

Dla zaoszczędzenia długich drutów kompensacyjnych w instalacjach, gdzie galwanometr jest daleko od termopary stosuje się (Wilson — Maeulen Co.) urządzenie wskazane na rys. 18.

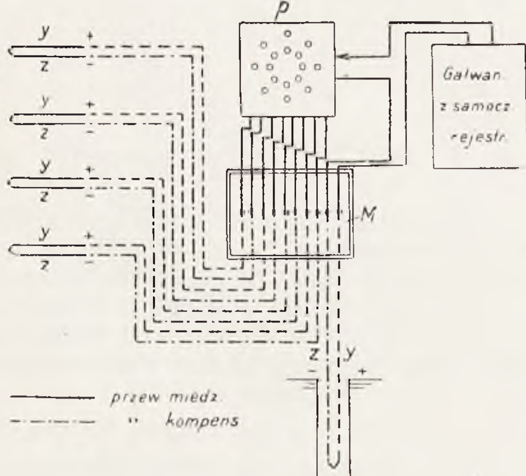
W obwód termopary z materjałów *Y* i *Z* wprowadzamy drugą termoparę z tych samych materjałów, której gorące spojenie jest utrzymywane w temperaturze stałej np. przez zakopanie w ziemię. Właściwemi zimnemi spojeniami tej termopary są złącza *a* i *b*, tworzone z tych samych metali, uszeregowanych odwrotnie w obwodzie, wskutek czego siły elektromotoryczne, powstałe w nich wskutek

zmiany temperatury, są równe lecz o kierunkach przeciwnych, więc znoszą się. Umieszczone muszą być blisko siebie (w jednem pudełku) by podlegały tym samym wahaniom temperatur.



Rys. 18
Dodatkowa termopara w obwodzie.

4. Ta sama zasada zastosowana została do rozwiązania nieraz trudnego zagadnienia umieszczenia zimnych spojeń w dużych instalacjach, gdzie kilka lub kilkanaście termopar prowadzonych jest do jednego odległego galwanometru. Wyprowadzenie wszystkich zimnych spojeń przy pomocy drutów kompensacyjnych aż do galwanometru jest nieraz bardzo kosztowne. By uniknąć tego stosuje się urządzenie, wskazane na rys. 19.

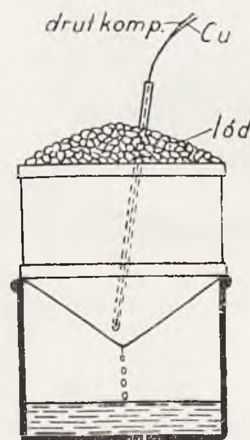


Rys. 19
Instalacja dla wielu termopar prowadzonych do jednego galwanometru.

Wszystkie przewody kompensacyjne prowadzone są do jednego pudła metalowego *M*, w którem temperatura nie ulega szybkim zmianom. Z pudła prowadzą do przełącznika *p* już przewody miedziane, przytem w ten sposób, że wszystkie od metalu *Y* — do zacisków na zewnętrznem kole, a od metalu *Z* — do zacisków na kole wewnętrznem. Zaciski zewnętrzne są przez rączkę wyłącznika łączone z miedzianym drutem prowadzącym bezpośrednio do galwanometru. Odpowiednie zaciski na wewnętrznem kole łączone są jednocześnie z drutem miedzianym, prowadzącym do skrzyni, gdzie łączy się z termoparą dodatkową z tych samych drutów kompensacyjnych *Z* i *Y*, uszeregowanych jak poprzednio. Gorący koniec tej termopary jest utrzymywany w temperaturze stałej. Drugie ramię tej termopary prowadzi z powrotem do skrzyni, w której łączy się z drutem miedzianym, prowadzącym bezpośrednio do galwanometru. W ten sposób, przy odpowiedniem ustawieniu przełącznika *p*, włączamy jedną z termopar mierniczych poprzez zawsze tę samą termoparę pomocniczą w obwód galwanometru, w taki sam sposób, jak na rys. 18, a wszystkie zimne spojenia skupione są w jednem pudle, by znajdowały się zawsze w tej samej temperaturze. Kompensacja następuje jak w poprzednio opisanem urządzeniu. Oszczędność na drutach kompensacyjnych w dużych instalacjach może dochodzić powyżej 50 %.

Metody termostatyczne.

Gwarancję zupełnie prawidłowego pomiaru temperatury termoelementem dają tylko



Rys. 20
Zimne spojenie w naczyniu z lodem.

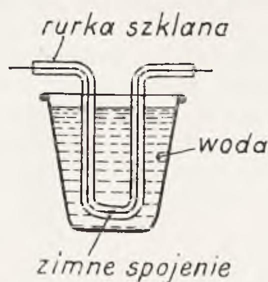
urządzenia, utrzymujące zimne so əjnia w temperaturze stałej—takiej, w jakiej się one znajdowały przy wzorcowaniu.

Powszechnie przyjęte są dziś dwie temperatury wzorcowania zimnych spojeń: temperatura 0°C (topniejący lód) i 20°C. Pierwsza znajduje zastosowanie tylko tam, gdzie sprowadzenie lodu nie sprawia trudności, a więc tylko w laboratorjach. W przemyśle przyjęto powszechnie za temperaturę wzorcowania 20°C.

1. Topniejący lód.

Dla utrzymywania zimnych spojeń w temperaturze topniejącego lodu stosuje się wiele urządzeń. Jedno z nich polecone przez Cieplne Laboratorjum Doświadczalne w Monachjum wskazane jest na rys. 20.

Naczynie o kształcie lejka, średnicy około 15 *cm*, zapełnia się lodem i wkłada weń pro-



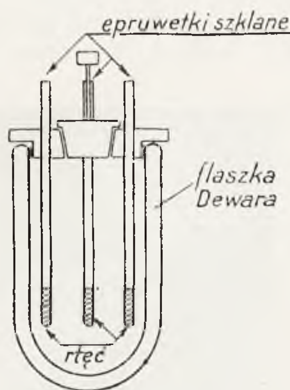
Rys. 21
Zimne spojenie w naczyniu z wodą.

bówki z ukrytemi w nich zimnemi spojeniami. Spływająca woda zbiera się w podstawionym zbiorniczku blaszanym. Należy przytem pamiętać, że świeżo dostarczony lód bywa przestudzony i przyjmuje temperaturę topnienia dopiero po pewnym czasie. Przy dobrze pokruszonym lodzie przestudzenie można szybko usunąć przez zalanie go wodą.

2. Termosy.

W praktyce wygodniejszym się okazuje zwykły termos o szerokiej szyi, wypełniony pokruszonym lodem, w który wstawia się probówki z zimnemi spojeniami. W dobrym termosie zawartość lodu wystarcza na 15 — 20 godzin.

Jeśli lodu niema do dyspozycji, napełnia się termos wodą. Wtedy należy jednak przez otwór w korku wprowadzić do termosu termometr do stwierdzenia i ew. rachunkowego uwzględnienia zmian temperatury.



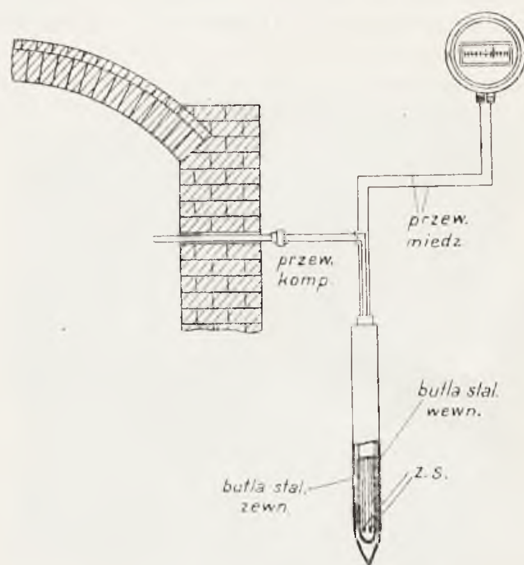
Rys. 22
Flaszka Dewara.

Nieco gorszem, lecz prostszem urządzeniem jest naczynie z wodą wskazane na rys. 21. Zimne spojenia umieszczone są w rurkach szklanych w kształcie litery U w celu wzajemnego ich odizolowania.

Nowoczesne całkowicie ze stali wykonane flaszki próżniowe Dewara (rys. 22) utrzymują bardzo dobrze temperaturę 0°. Zawartość lodu wystarcza w nich na 24 godziny. Przez denko wprowadza się szereg probówek szklanych z małą zawartością rtęci na dnie. Do każdej probówki wprowadza się jedno zimne spojenie.

3. Butle stalowe w ziemi.

Jednym z prostych sposobów uniknięcia dużych wahań temperatury jest umieszczenie zimnych spojeń w butli stalowej zakopanej w ziemi. Na głębokości 3 *m* pod powierzchnią ziemi temperatura w naszym klimacie utrzymuje się na poziomie 8 : 12°C i wahania jej nie przenoszą ± 2°C (w miejscu pod dużym budynkiem lecz nie w pobliżu pieca). Urządzenie tego rodzaju w wykonaniu firmy Brown Instr. Co. przed-



Rys. 23
Zimne spojenie zakopane w ziemię.

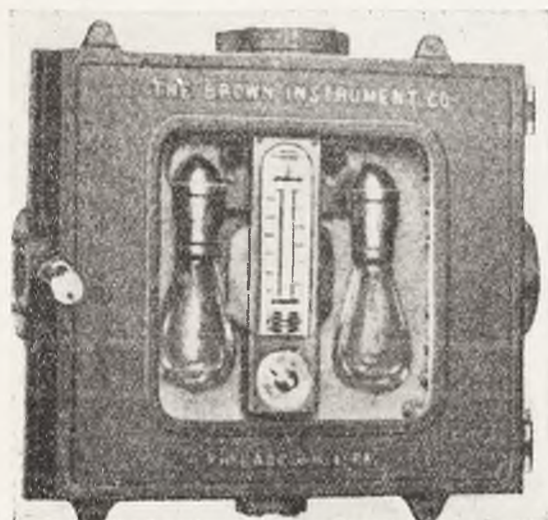
stawia rys. 23. Stalowa butla od dołu zamknięta wraz z drugą umieszczoną wewnątrz niej zakopana jest w ziemi. Zimne spojenia starannie odizolowane umieszczone są na dnie wewnętrznej butli w ten sposób, by można je było zawsze łatwo wyjąć. Górny otwór zatyka się azbestem i starannie zalewa smołą. Wadą tego sposobu jest niebezpieczeństwo dostania się do wnętrza butli wilgoci, która powoduje powstawanie prądów galwanicznych, będących źródłem większych błędów, niż same błędy wywołane zmianą temperatury zimnych spojeń.

4. Termostaty.

Najodpowiedniejszem urządzeniem do utrzymania zimnych spojeń w stałej temperaturze, tam gdzie niema lodu, są termostaty. Mają one tę zaletę, że gwarantują wysoką dokładność i upraszczają znakomicie pomiar temperatury, gdyż usuwają wogóle potrzebę kontro-

lowania temperatury zimnych spojeń, co przy dużej ilości pomiarów zwłaszcza w przemyśle ma szczególne znaczenie.

Termostaty zaopatrzone są zazwyczaj w urządzenia pozwalające regulować temperaturę wnętrza ich w dość szerokich granicach (10 — 65° C). Większość ich jest ogrzewana dwiema dużemi lampami żarowemi. Studzenie ich następuje na drodze wymiany ciepła z otoczeniem, dlatego temperatura w nich powinna być nieco wyższa niż otoczenia. Jeśli w otoczeniu temperatura nigdy nie przekracza 20° C należy wówczas termostat nastawić na temperaturę 20° C. Jeśli zaś temperatura otoczenia kiedykolwiek przekracza 20° C należy termostat ustawiać na temperaturę nieco wyższą od najwyższej temperatury otoczenia i już stale ją na takim poziomie utrzymywać. Wszystkie termopary, których zimne spojenia umieszczone są w termostacie, należy wzorcować wzgl. żądać od firmy sprzedającej wywzorcowania w temperaturze zimnych spojeń takiej, jaka panuje w termostacie podczas pracy. Termostaty te budowane przez wiele firm (Cambridge, Brown Co) posiadają formę skrzynek (rys. 24), zaopatrzrnych w termometr wskazujący temperaturę wnętrza. Utrzymują one temperaturę stałą z dokładnością do 1 ÷ 2° C w ciągu długiego czasu. Obok tej stosunkowo niedużej dokładności wadą ich jest również znaczny koszt zarówno inwestycji jak i eksplotacji, wynikające z konstrukcji.

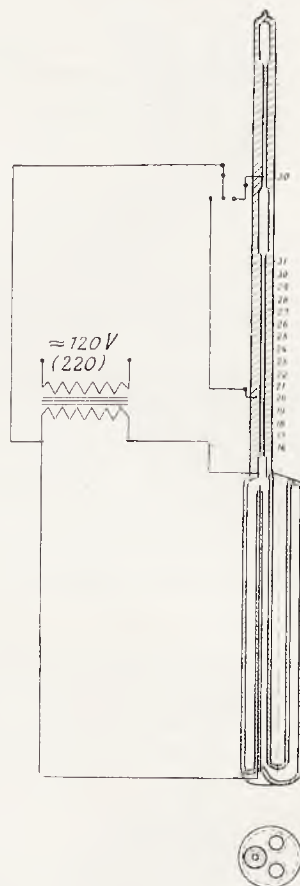


Rys. 24
Termostat firmy Brown Instr. Co.

Nowe termostaty konstrukcji autorów [1]) nie posiadają tej ujemnej strony i odznaczają się prostotą konstrukcji. Rys. 25 przedstawia ich budowę i schemat działania.

[1]) Patent polski Nr. 20108.

W zbiorniczku termometru z grubego szkła (o wymiarach ⌀ 20 *mm* l = 100 *mm*) wtopione są długie szklane epruwetki z małą zawartością rtęci na dnie, w których umieszcza się zimne spojenia termopar i zatyka je od góry watą. Do epruwetek wprowadza się więc przewody kompensacyjne, a wyprowadza

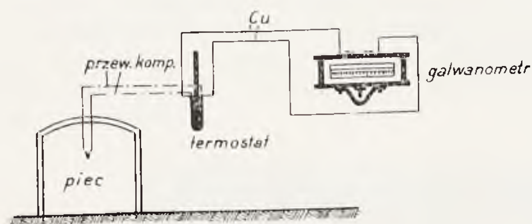


Rys. 25
Schemat termostatu konstrukcji autorów.



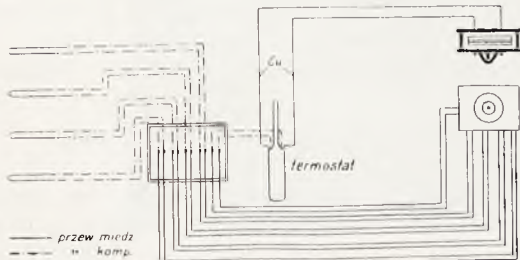
Rys. 26
Termostat konstrukcji autorów.

z nich już druty miedziane. We wnętrzu zbiorniczka wtopiony jest także drut oporowy grzejny, wypuszczony na zewnątrz końcem *I*. W kapilarę wtopione są 3 druty: jeden u podstawy i dwa kontaktujące — przy 20°C i dowolnej innej temperaturze, zależnej od temperatury otoczenia, w którem termostat będzie się znajdował (na rys. 50°C). Zasilanie prądem następuje z sieci za pośrednictwem transformatorka (1 *A*, 8 *V*).



Rys. 27
Zainstalowanie termostatu.

Przed wyłączeniem prądu termostat wskazuje temperaturę otoczenia. Po włączeniu prądu do transformatorka zamyka się obwód grzejny I, II, *M* i drut grzejny zaczyna grzać rtęć w zbiorniczku dotąd, aż rtęć w kapilarze podniesie się do włączonego w obwód elektryczny kontaktu, np. przy 20 C. Wówczas



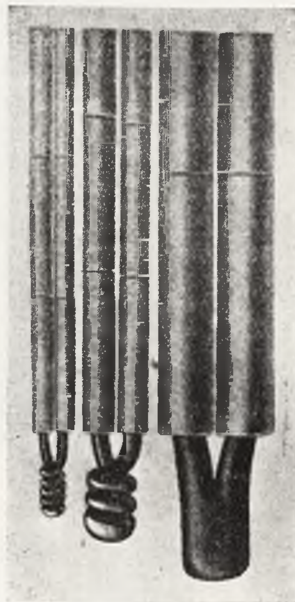
Rys. 28
Umieszczenie termostatu w dużych instalacjach pirometrażowych.

uzwojenie wtórne transformatora zostaje na krótko zwarte przez druty II i III, i prąd w obwodzie oporowego drutu grzejnego spada do wartości minimalnej, która nie jest w stanie wywiązać ciepła. Rtęć w zbiorniczku zaczyna powoli stygnąć, a gdy opadnie ona w kapilarze tak, że obwód krótkiego zwarcia się przerwie, wówczas popłynie duży prąd przez drut oporowy grzejący zbiorniczek.

W ten sposób temperatura rtęci w zbiorniczku, a więc i w epruwetkach utrzymuje się na stałym poziomie. Wahania temperatury epruwetek nie przekraczają 0,1°C. Rys. 26 podaje fotografję termostatu z umieszczonemi w nim zimnemi spojeniami. Odznacza się on łatwością obsługi, łatwością wyjmowania zimnych spojeń w razie potrzeby oraz bardzo małem zużyciem mocy ($\sim$ 5 *W*). Umieszcza się go bądź na jednej tablicy z galwanometrem, bądź też w długich instalacjach dla zaoszczędzenia kosztów przewodów kompensacyjnych, bliżej samej termopary (w odległości $\sim$ 3 *m*), a dalej od termostatu prowadzą już do galwanometru kabelki miedziane (rys. 27).

W dużych instalacjach, gdzie wiele jednakowych termopar przekazywanych jest na jeden galwanometr, można utrzymywać w termostacie tylko jedne zimne spojenia (drut kompensacyjny-miedź) (rys. 28).

Druty kompensacyjne prowadzą wówczas do skrzynki metalowej o grubych ścianach, dokąd prowadzą także druty kompensacyjne od termostatu. Wszystkie połączenia drutów kompensacyjnych z drutami miedzianemi umieszczone są w pudle. Druty miedziane prowadzą do przełącznika zbudowanego tak, że pokolei można łączyć każdą termoparę z drutami kompensacyjnemi prowadzącemi do termostatu. Z termostatu zaś prowadzą kabelki miedziane do galwanometru.



Rys. 29
Sposoby wykonania gorącego spojenia.

C. Gorące spojenie.

Gorące spojenie powstaje przez trwałe złączenie drutów termopary. Jest przytem rzeczą obojętną, czy to złączenie następuje bezpośrednio — przez spawanie lub skręcenie, czy też pośrednio przez lutowanie przy pomocy innych materjałów. Materjał pośredniczący niema żadnego wpływu na wartość siły elektromotorycznej, jeśli tylko całe połączenie znajduje się w tej samej temperatu-

rze. Powstałe bowiem wskutek takiego pośredniego połączenia dodatkowe *SEM* w miejscach styku poszczególnych drutów termopary z materjałem pośredniczącym skierowane są przeciwnie i znoszą się wzajemnie. Rys. 29 przedstawia różne sposoby wykonania gorącego spojenia.

Samo skręcanie drutów nie tworzy dobrego połączenia. Najlepsze połączenie otrzymuje się przez spawanie w łuku elektrycznym. Druty termopary po złączeniu przełącza się do anody prądu stałego o napięciu 100 *V*. Katodę stanowi laska grafitowa. Końce drutów po włączeniu prądu przysuwa się do katody grafitowej i zaraz po utworzeniu łuku odsuwa się z powrotem. Przed spawaniem należy końce drutów pokryć boraksem przez zanurzenie ich po nagrzaniu do proszku boraksowego.

Inż. WŁADYSŁAW PAC.

BADANIE PRZEKŁADNI TRYBOWEJ.

Na wiosnę roku bieżącego przy współudziale inżynierów Stowarzyszenia Dozoru Kotłów w Warszawie przeprowadzone zostało badanie przekładni trybowej, wykonanej przez firmę krajową na zamówienie Sowpoltorgu.

Opis instalacji.

Omawiana przekładnia ma służyć jako przystawka do turbiny parowej o mocy 700 *kW*, a celem jej jest napędzanie pompy przy obrotach, zredukowanych z 4500 na 730 *obr/min*. Przekładnia składa się z pary kół trybowych podwójno-śrubowych. Kółko napędowe, stanowiące całość z wałkiem, posiada 31 zębów, zaś koło pędzone jest osadzone na oddzielnym wale i posiada 190 zębów. Średnice podziałowe kół wynoszą odpowiednio: 140,27 *mm* i 859,73 *mm*. Długość uzębienia każdego koła: 2 razy po 180 *mm*

Szybkość obwodowa kół trybowych jest znaczna, gdyż wynosi 33 *m/sek*; prędkość obwodowa wałka szybkobieżnego, posiadającego w łożyskach średnicę 100 *mm*, równa się 23,6 *m/sek*.

Olej do smarowania przekładni i łożysk znajduje się w stałym obiegu pod działaniem trybowej pompki oliwnej. Stąd olej przepływa do chłodnicy wodnej, gdzie intensywność chłodzenia oleju regulowana jest ilością przepływającej wody. Chłodzenie może być też zupełnie wyłączane. Na komunikacji wodnej wbudowany jest także filtr oleju.

Przekładnia posiada również ręczną pompkę olejową, która służy do zalewania kół zębatych i łożysk w chwili uruchomienia przekładni.

Gwarancje i zakres badań.

List umowny na dostawę urządzenia, poza odpowiedzialnością dostawcy za materjał i wykonanie w przeciągu 12 miesięcy, zawierał jedynie gwarancję, że sprawność przekładni wyniesie 98,5%, przy tolerancji 2%. Umowa wskazywała, że określenie sprawności podczas prób odbiorczych ma być odniesione do biegu jałowego przekładni.

Zgodnie z powyższemi postanowieniami pierwszym punktem badań było określenie strat mechanicznych przekładni podczas jej biegu jałowego.

Następnie na wniosek dostawcy poddano obserwacji bieg przekładni przy wytworzeniu nacisków na ząb zarówno normalnych, odpowiadających pełnemu obciążeniu, jak i zwiększonych, przy pracy z przeciążeniem.

Określenie sprawności przekładni.

Badanie powyższe zostało przeprowadzone w obecności komisji, złożonej z przedstawicieli dostawcy, delegata Sowpoltorgu oraz inżynierów Stowarzyszenia Dozoru Kotłów w Warszawie.

Podczas próby napędzano przekładnię zapomocą silnika elektrycznego. Utrzymując normalną liczbę obrotów kół zębatych, określano zużycie mocy przez przekładnię. Ponieważ wytwórnia nie rozporządzała silnikiem elektrycznym o 4500 *obr/min*, stosowania zaś dodatkowej przekładni obrotów ze względu na dokładność pomiarów należało zaniechać, przeto za zgodą stron napędzano badaną przekładnię od strony wolnobieżnego koła zębatego. W tym celu duże koło przekładni połączono bezpośrednio z posiadanym silnikiem, zbudowanym dla mocy 38 *KM* i 725 *obr/min*.

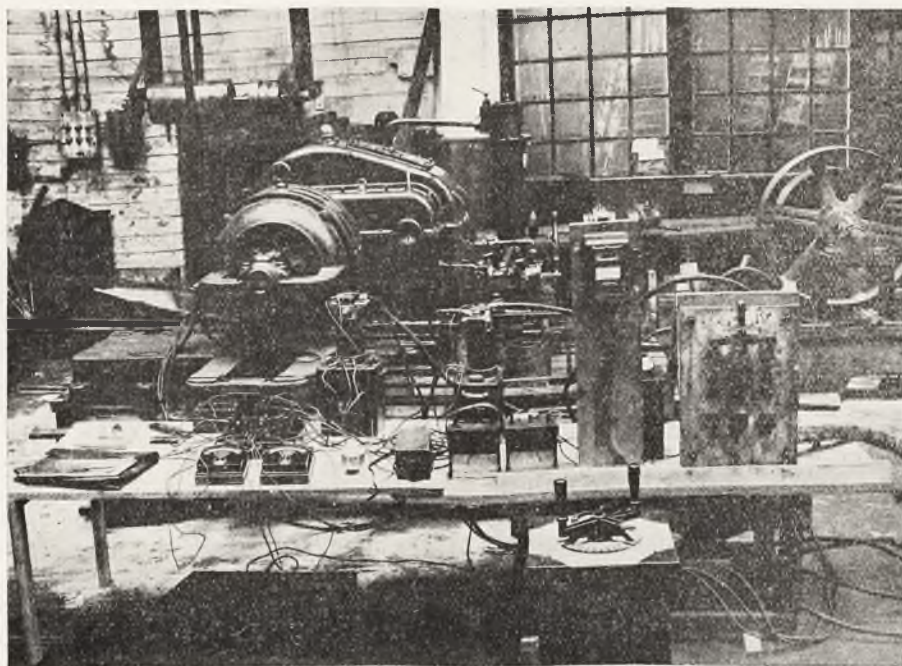
Urządzenie dla pomiaru mocy, pobieranej do napędu przekładni, przedstawione jest na rys. 1. Zapotrzebowanie mocy, mierzone na zaciskach silnika, określane było zapomocą precyzyjnych watomierzy Stowarzyszenia Dozoru Kotłów w Warszawie. Równolegle dla orjentacji notowane były wskaza-

nia zwykłego licznika *kWh* Podczas powyższego pomiaru mierzono tachometrem liczbę obrotów kół trybowych oraz notowano temperaturę obu łożysk małego koła, korzystając z wbudowanych na stałe termometrów.

Ponieważ temperatura oleju nie pozostaje bez pewnego wpływu na pracę i sprawność przekładni, normowano temperaturę łożysk w czasie tych badań w granicach 50 — 55°C, chociaż umowa nie zawierała pod tym względem wskazań. Aby posiadać orjentację co do temperatury samego oleju mierzono jej wielkość w miejscu wyciekania oleju z łożyska.

Dla określenia strat silnika w warunkach próby obciążono go hamulcem, starając się utrzymać takie same obciążenie silnika, jakie istniało podczas pomiaru biegu jałowego przekładni. Ze względu na małą niszczoną moc silnik hamowano zapomocą liny z dynamometrem (por. prof. B. Stefanowski: „Gospodarka Cieplna“ str. 253).

Przy obciążeniu silnika 9,76 *kWh* moc, potrzebna do zahamowania silnika, wyniosła 11,16 *KM.* Ponieważ jednak obciążenie silnika w czasie biegu jałowego przekładni stanowiło 9,77 *kWh*, należało przeprowadzić przeliczenie na tę moc, z czego wynikło, że w warunkach badania przekładni do zaha-



Rys. 1

Przed przystąpieniem do właściwego pomiaru przekładnia pędzona była tak długo, aż zostało stwierdzone ustalenie się warunków pracy. Chłodzenie oleju wodą zostało wyłączone.

Średnie wyniki przeprowadzonego w ten sposób pomiaru były następujące:

obciążenie silnika	9,77	*kW*
liczba obrot. dużego koła zębat.	742	obr/min
„ „ małego „ „	~ 4530	„
temperatura lewego łożyska	51,8°C	
„ prawego „	53,7°C	
„ oleju, wyciekającego z łożyska . .	82°C	

Dla określenia mocy, pobieranej przez samą przekładnię, należało teraz uwzględnić własne straty silnika. Ponieważ nie posiadano jego charakterystyki, trzeba było przeprowadzić dodatkowy pomiar.

mowania silnika potrzeba było 11,17 *KM*, czyli 8,21 *kWh.* Jest to właśnie moc, jaką pochłaniały mechaniczne opory przekładni podczas jej biegu jałowego.

Odnosząc w myśl umowy tę stratę do normalnej mocy 700 *kWh,* jaką ma przenosić przekładnia, otrzymano sprawność urządzenia równą 98,83%, a więc nieco lepszą od gwarantowanej, nawet bez uwzględnienia dopuszczalnej tolerancji na korzyść dostawcy.

Sprawdzenie biegu przekładni przy nacisku na ząb.

Powyższe badanie nie było objęte umową i było przeprowadzone na życzenie dostawcy. Dlatego też nie przestrzegano tu zbytniej dokładności i nie uganiano się za dotrzymaniem podczas badań normalnej liczby obrotów kół trybowych. Wymagałoby to bowiem zastosowania specjalnych urządzeń, zapewniających właściwy nacisk na zęby

podczas szybkich obrotów, lub też zmusiłoby do zainstalowania specjalnej hamowni, mającej niszczyć aż 700 *kWh* obciążenia.

Z tego względu zastosowano zwykły hamulec Prony; dlatego zaś aby uzyskać odpowiedni nacisk na ząb przy niewysokiem obciążeniu pędzono przekładnię na małą liczbę obrotów.

Urządzenie napędzano silnikiem elektrycznym, połączonym z małem kołem zębatem zapomocą dodatkowej przekładni pasowej. Hamulec Prony działał na prowizoryczną tarczę, osadzoną na wałku dużego koła zębatego przekładni.

Najpierw doprowadzono obciążenie hamulcem do 30,97 *KM*, wywołując nacisk na ząb koła równy 2232 *kg*, a więc o 3,2% wyższy od nacisku przy obciążeniu normalnem przekładni. Następnie przeprowadzono dalsze dwie próby, podwyższając nacisk na ząb początkowo do 2471 *kg* (14,2% przeciążenia), następnie zaś do 2994 *kg* (38,3% przeciążenia).

Zarówno przy próbach obciążania zębów, jak i podczas biegu jałowego przy normalnej liczbie obrotów koła zębate przekładni pracowały zupełnie spokojnie. Należy to zaznaczyć tembardziej, że w pracujących u nas przekładniach zagranicznego pochodzenia uderza niekiedy ich hałaśliwa praca.

Inż. KAZIMIERZ SZAWŁOWSKI. Poznań.

WPŁYW DRGANIA FUNDAMENTU NA MOC SILNIKA.

Zagadnienia drgań fundamentów silników, — w szczególności dużych, szybkobieżnych jednostek, — absorbują umysły inżynierów w dzisiejszych czasach więcej niż kiedykolwiek.

Fundamenty budują zazwyczaj statycy, którzy z trudnością wnikają w istotę obciążeń dynamicznych wymuszających drgania, to też niejednokrotnie spotykamy w praktyce drgające silniki. Drgają silniki tłokowe oraz turbiny — a drgania te są przyczyną wstrząsów sąsiadujących urządzeń maszynowych, samego budynku maszynowni oraz budynków, które mogą nawet znajdować się daleko od maszynowni. Oczywiście praca takich siłowni jest zawsze niepewna. Drgające fundamenty niszczą przedwcześnie silnik, zaś sam fundament w krótkim czasie pęka i powstają długotrwałe procesy sądowe.

Dla energetyka interesujący jest wpływ drgań fundamentu na moc silnika. Wiadomo bowiem, iż drgania fundamentu są drganiami wymuszonemi. Siłą wymuszającą drgania jest wypadkowa niewyważonych sił wzgl. momentów masowych części ruchomych silnika, których ze względu na liczbę cylindrów, układ korb i wagę — konstrukcyjnie wyważyć nie można. (Maszyna parowa, silnik spalinowy). Oczywiście jeżeli mówimy o drganiach fundamentu musimy mieć na uwadze drgania własne fundamentu, które zależą też od warunków terenu. Dla zachowania równowagi środka ciężkości zespołu fundament - silnik, drgania własne tego zespołu oraz drgania siły wymuszającej nie powinny uzgadniać się częstotliwością, t. z. nie może zachodzić rezonans, lecz przeciwnie — częstotliwości powinny o ile możności bardzo różnić się od siebie. Jeżeli zachodzi rezonans zespół fundament - silnik drga, czyli następują wówczas największe wychylenia środka ciężkości z położenia równowagi.

Przejdźmy do właściwego tematu.

Siła wymuszająca drgania wykonuje pracę, — energję dla tej pracy traci silnik. Możemy wprost powiedzieć, iż wskutek drgań źle wykonanego fundamentu część mocy silnika zostaje stracona. Jak można oznaczyć tę stratę i ile ona może wynosić przedstawiają następujące obliczenia ogólne. Obliczenia dotyczą silnika Diesel'a; — siłą wymuszającą drgania niech będzie siła masowa mas posuwistych.

Z teorji drgań wiemy, iż drgania wymuszone przedstawiamy równaniem różniczkowem:

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} + Cx + K \frac{dx}{dt} = P_0 . \sin \omega t$$

w równaniu tem oznaczają:

m . . . masę drgającą,
C . . . spółczynnik elastyczności,
K . . . „ oporu,
x . . . chwilowe wychylenia,
$\frac{dx}{dt}$ . . . szybkość,
$\frac{d^2 x}{dt^2}$ . . przyśpieszenie,
$P_0 \sin \omega t$ . . siłę wymuszającą drgania,
$\omega = \frac{2\pi}{T}$ . . częstość kołową siły wymuszającej drgania.

Rozwiązanie tego równania składa się z trzech wyrazów, z których wobec spółczyn-

nika oporu możemy uwzględnić tylko trzeci wyraz; dwa inne wyrazy szybko maleją. Trzeci wyraz:

$$x = x_0 \, . \sin(\omega t - \varphi)$$

oznacza wychylenia zespołu drgającego, przyczem.

x_0 . . . jest maksymalnem wychyleniem,

φ . . . przesunięciem fazy drgania wymuszonego.

Kąt przesunięcia fazy obliczamy wegług teorji drgań z wzoru:

$$tg\ \varphi = \frac{K\omega}{C - m\omega^2}$$

Zastanówmy się, jaką wartość będzie miała częstotliwość kołowa drgań siły wymuszającej drgania jeżeli:

$$tg\ \varphi = \infty \quad \text{czyli, } \varphi = 90^0.$$

Z wzoru wynika, iż w tym wypadku

$$C = m\omega^2$$

czyli

$$\omega = \sqrt{\frac{C}{m}}$$

a okres drgań:

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi \sqrt{\frac{m}{C}}$$

Jak wiadomo, wzór określający wychylenia drgań własnych zespołu fundament-silnik wyraża się:

$$x = x_0 \cos 2\pi \frac{t}{T} \text{. dla } t = 0 \ x = x_0$$

przyczem okres tych drgań

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{C}}$$

Porównywując obydwa okresy stwierdzamy, iż są one sobie równe, czyli stąd wniosek, że przy przesunięciu fazy o 90⁰ drgania własne zespołu i drgania siły wymuszającej są w rezonansie.

Przyjmijmy więc ten wypadek dla obliczenia pracy jaką siła wymuszająca wykonywuje podczas wychyleń zespołu drgającego.

Wychylenia określimy:

$$x = x_0 \sin\left(2\pi \frac{t}{T} - \frac{\pi}{2}\right) = -x_0 \cos 2\pi \frac{t}{T}$$

Niech siłą wymuszającą drgania będzie siła masowa pierwszego stopnia, której okres

$$T = \frac{60}{n} \text{ dla } n \text{ obr/min silnika}$$

Praca, którą pochłania drgający zespół fundament — silnik, równa się całce iloczynu siły wymuszającej drgania i przyrostu wychyleń, licząc oczywiście na jeden obrót. Równanie będzie miało postać:

$$L = \int_{t=o}^{t=T} P \, . \frac{dx}{dt} \cdot dt =$$

$$= \int_{t=o}^{t=T} P_0 \sin\left(2\pi \frac{t}{T}\right) \cdot \frac{2\pi}{T} \ x_0 \sin\left(2\pi \frac{t}{T}\right) dt =$$

$$= P_0 \ x_0 \int_{t=o}^{t=T} \sin^2\left(2\pi \frac{t}{T}\right) \cdot d\left(2\pi \frac{t}{T}\right)$$

po scałkowaniu

$$L = P_0 \ x_0 \int_{t=o}^{t=T} \left\{ -\frac{1}{2} \sin\left(2\pi \frac{t}{T}\right) \cos\left(2\pi \frac{t}{T}\right) + \frac{1}{2} \cdot 2\pi \frac{t}{T} \right\} = P_0 \, x_0 \, \pi$$

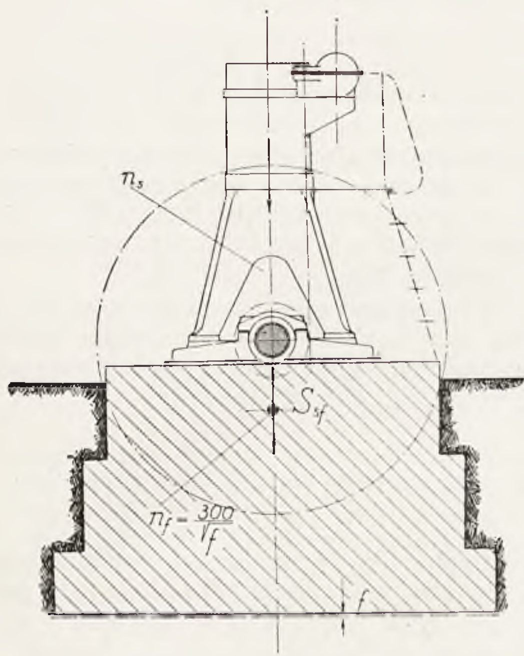
Wychylenia fundamentu od linji zerowej notujemy w dwóch kierunkach, czyli praca całkowita na jeden obrót silnika wskutek drgania zespołu:

$$L' = 2 \ P_0 \ x_0 \ \pi$$

Obliczmy przykład z praktyki.

Na fundamencie ustawiony jest pionowy, jednocylindrowy silnik Diesel'a o mocy 60 KM_e przy 300 obr. na min. (rys. 1). — Wymiary cylindra:

$$D = 325 \ mm$$
$$S = 420 \ mm$$



Rys. 1

Korbowód silnika bezwodzikowy. Waga tłoka $G_1 = 160$ *kg*, 60% łącznika $G_2 = 45$ *kg*.

Waga więc mas posuwistych niewyważonych, które działają w takcie ilości obrotów i częstotliwością są w rezonansie z drganiami zespołu wynosi 205 *kg* $= G_1 + G_2$.

Wibrografem stwierdzono, iż maksymalne wychylenia od położenia równowagi fundamentu wynoszą

$$x_0 = 0{,}5 \ mm$$

Jak wiadomo siłę masową wyrażamy wzorem

$$P_m = P_0 (\cos \alpha + \lambda \ . \cos 2 \alpha)$$

$$\lambda = \frac{r}{l}, \ P_0 = \frac{G_1 + G_2}{9{,}81} \cdot r \ \omega,^2 \ \omega = \frac{\pi n}{30}$$

r = ramię korby

l — długość łącznika

Ponieważ uwzględniamy siłę masową pierwszego stopnia

$$P_{m1} = P_0 \ . \cos\alpha$$

jej największa wartość

$$P_1 = P_0 = \frac{205}{9.81} \ . \ 0{,}21 \ . \ 31{,}4^2 = 4\ 326{,}4 \ kg$$

pracę straconą na jeden obrót silnika

$$L' = 2.0{,}0005.4326{,}4 \ . \ 3{,}14 = 13{,}58 \ kgm.$$

Ponieważ silnik robi 5 obrotów na sekundę, praca sekundowa:

$$L_s = 5 \ . \ 13{,}58 = 67{,}90 \ Kgm/s$$

a w *KMe*

$$N_{str} = \frac{67{,}90}{75} = 0{,}905 \ KMe$$

W odniesieniu do mocy na sprzęgle t. j. 60 *KMe* czyni to:

$$\frac{0{,}905}{60} \ . \ 100 = 1{,}5\%$$

Wynika z tego, iż silnik w rzeczywistości rozwija moc blisko 61 *KMe*, czyli rozchód paliwa na *KMe* godz. należałoby obliczać na tę zwiększoną moc. Należy zaznaczyć, iż tego rodzaju przeliczenia mogą być bardzo ważne przy odbiorach gwarancyjnych.

Przytoczony przykład, uwzględniający drgania wymuszone fundamentu siłami pierwszego stopnia, jest prosty. Należałoby zwrócić uwagę na siły masowe wyższych stopni i wpływ ich na drgania fundamentu. Jeżelibyśmy rozpatrywali wyższe harmoniczne sił masowych

$$P_{II} = P_0 \ \lambda \ \cos 2 \ \alpha$$
$$P_{III} = c_1 \ P_0 \ . \ \lambda^3 \cos 4 \ \alpha$$
$$P_{IV} = c_2 \ P_0 \ \lambda^5 \ \cos 6 \ \alpha$$

. . . .

stwierdzimy, iż ich wartości szybko maleją a to ze względu na $\lambda = \frac{r}{l}$, częstotliwości natomiast wzrastają. Ponieważ również zmniejszają się wychylenia fundamentu wskutek drgań — praca stracona szybko maleje. W praktyce uwzględniamy zazwyczaj tylko siłę masową drugiego stopnia, — inne pomijamy.

Przy typach wielocylindrowych określenie wypadkowej siły masowej wzgl. wypadkowego momentu masowego, systemów niewyważonych, jest zasadniczo proste. Najlepiej i najłatwiej określa się ją drogą graficzną — metodą wektorową.

Wypadkowy moment działający okresowo na fundament należy zastąpić parą sił. Częstotliwość własną zespołu fundament—silnik, dla drgań wymuszonych w dowolnym kierunku, obliczamy również ze zmierzonych wychyleń statycznych, wychodząc z zasadniczego wzoru:

$$T = 2 \pi \sqrt{\frac{m}{c}} = 2 \pi \sqrt{\frac{G}{9{,}81 \ c}}$$

ponieważ

$$T = \frac{60}{n} \text{ dla } n \text{ drgań/min}$$

$$n = \frac{60}{T} = \frac{30}{\pi} \sqrt{\frac{9,81 \,.\, c}{G}}$$

uwzględniając, iż

$$f = \frac{G}{c} \text{ jest wychyleniem w } cm$$

$$n = \sim \frac{300}{\sqrt{f}}$$

i stąd można wnioskować o rezonansie[1]).

Literatura.

1) Grundzüge der Technischen Schwingungslehre — Dr. Ing. O. Föppel. 1931.

2) Zagadnienia drgań w budowie maszyn Dr. inż. M. T. Huber — *Przegląd Techniczny* 1932 r. — str. 181, 208 321.

3) Richtige und fehlerhafte Maschinen-Gründungen — Dr. Ing. Dr. techn. E. Rausch Z. V. D. I. — 1931 — str. 1069, 1133.

4) Schnellaufende Verbrennungsmaschinen Ing. R. Granzer — 1932.

5) Vibration Problems in Engineering (London, Constable & Co Ltd) S. Timoszenko 1928 — (w przekładzie niemieckim: Schwingungsprobleme der Technik).

KRONIKA TECHNICZNA

Wyniki badań regulacji kotła jednorurowego Sulzera[2]).

Pierwsze wykonanie najnowszego kotła wysokoprężnego — jednorurowego oraz wstępne wyniki jego regulacji, zostały podane w Nr 7 „Techniki Cieplnej" str. 115, r. 1933. W końcu roku ubiegłego prof. Stodola przeprowadził dalsze badania nad regulacją tego kotła, które zasługują na omówienie.

Już w r. 1924 firma Sulzer ustawiła w swoich zakładach tego rodzaju kocioł, który przepracował 1600 *godz*. Jest on zbudowany z jednej rury wykonanej zapomocą spawania rur pojedyńczych. Zwoje tej samej rury, zależnie od położenia ich w stosunku do paleniska, tworzą kolejno, podrzewacz, właściwy kocioł i przegrzewacz, a woda zasilająca wtłaczana do jednego końca rury zostaje na swej drodze wyparowana i przegrzana. Podczas ogrzewania wody stosuje się przeważnie zasadę „przeciwprądu" t. j. wodę zasilającą wprowadza się od strony uchodzących spalin.

Obieg w kotle o wysokiem ciśnieniu, wskutek stosunkowo większego ciężaru właściwego pęcherzyków pary, jest gorszy, niż w zwykłych kotłach wodnorurowych. Koniecznem więc było, przez zastosowanie pomp obiegowych poprawić obieg w strefie wyparowania, aby pęcherzyki pary nie mogły nigdzie osiadać na powierzchni rury. W strefie przegrzania szybkość pary miała być podniesiona do 20, nawet do 50 *m/sek*, aby w ten sposób zabezpieczyć powierzchnię opromieniowaną przed wysokiemi temperaturami. Ponieważ objętość właściwa pary wzrasta wzdłuż wężownicy, przez zastosowanie odpowiedniej średnicy rury, można zwiększyć szybkość przepływu samoczynnie do wymaganej wielkości.

Dla większych jednostek kotłów, przewidziana jest budowa złożona z kilku równolegle ułożonych rur[1]).

W przemyśle pierwszy kocioł jednorurowy został zainstalowany w jednej z fabryk w Winterthur i uruchomiony na jesieni 1932 r. Część wyprodukowanej pary o 100 *atn* i 400° C napędza turbinę de Lavala o mocy 500 *kW*, a część, drogą pośrednią, idzie na fabrykację. Mianowicie para świeża jest odprowadzana do kondensatora, obniżając w nim swe ciśnienie do 9 ÷ 10 *atn*, poczem dostaje się z powrotem do kotła. Ciepło oddane w kondensatorze idzie na odparowanie wody o ciśnieniu 8 *atn*. Woda przed wejściem do kondensatora jest podgrzewana spalinami.

W tym kotle, o wydajności normalnej 7,28 *t/godz*, rura posiada średnicę 30 — 50 *mm* i długość 1300 *m*, z czego 425 *m* leży w komorze opromieniowanej. Przy pełnem obciążeniu, wyparowanie rozpoczyna się niemal dokładnie na wejściu strumienia wody i pary do strefy opromieniowanej, potem para zaczyna się przegrzewać i przy temperaturze 345° C następuje wtrysk wody, regulującej temperaturę, w ilości 1,97 *t/godz*. To doprowadzenie wody do strumienia pary przegrzanej powoduje obniżenie temperatury do granicy nasycenia, a ostateczne przegrzanie rozpoczyna się dopiero na 100 *m* przed końcem rury i wynosi 380° C.

Pompa zasilająca kocioł jest jednocześnie pompą obiegową, musi ona pokonać ciśnienie w kotle i opory przepływu, pracuje więc przy znacznie większem ciśnieniu, niż prężność pary uchodzącej z kotła.

Podczas pracy kotła na 100 *atn* spadki ciśnienia w rurze i szybkości przepływu strumienia wynosiły: w strefie podgrzania wody 128 — 114,5 = 12 *at*

---

[1]) Wychylenia statyczne fundamentu zależne są od rodzaju podkładek pod fundamentem (masa korkowa odpowiednio uzbrojona sprężyny itp.) i wagi zespołu fundament—silnik. Przez odpowiednie dobranie elastycznej podkładki możemy dowolnie regulować częstotliwość drgań własną—co jest bardzo ważnem w budowie fundamentów. W praktyce oczywiście najłatwiej badamy drgania fundamentów sejsmografami lub też w brografami, z których do lepszych należy wibrograf firmy Brown Boveri T. A., umożliwiający odczytywanie wychyleń do 0,01 *mm*".

[2]) Revue technique Sulzer Nr 1, r. 1934.

[1]) Por. Technika Cieplna Nr 12, str. 194, r. 1933.

i 1,5 ÷ 3 *m/s*; w strefie wyparowania 114,5—105 = 10,5 *at* i 3 ÷ 18 *m/s*; w strefie przegrzania 104 — 98 = 6,0 *at* i 18 ÷ 25,2 *m/s*. W całej wężownicy spadek ciśnienia wynosił więc 30 *at*. Podczas pracy kotła na 50 *atn*, wskutek większej objętości właściwej pary, spadek ciśnienia był jeszcze znaczniejszy, jednak może on być obniżony przez użycie rury o większej średnicy. Zastosowanie więc tego rodzaju kotła jest, jak podaje prof. Stodola, zupełnie możliwe i dla niższych ciśnień, tak np. dla ciśnienia 35 *atn* i 20 *t/godz* kocioł składający się z czterech równoległych rur o średnicy 30÷52 *mm*, 750 *m* długości (500 m^2 pow. ogrzew.) i szybkości końcowej przepływu 52 *m/s*, będzie miał spadek ciśnienia ~ 9 *at*, wzgl. przy trzech rurach równoległych ~ 20 *at*.

Jeżeli instalacja kotłowa służy tylko do wytwarzania mocy, to ze względu na wahania obciążenia, pożądane jest magazynowanie energji. W zwykłych kotłach wodnorurowych uskutecznia to duża zawartość wody w kotle. Dla kotła jednorurowego o znikomej zawartości wody, może być w tym celu wbudowany specjalny walczak wyrównawczy o niskiem ciśnieniu. Doświadczenia wykazały, że dopuszczając w rurze większe spadki ciśnienia, kocioł ten przy zmianach obciążenia wykazuje nadspodziewanie dużą elastyczność.

Regulacja kotła jednorurowego była zagadnieniem bardzo trudnem. Cząsteczka wody potrzebuje na przejście rury długości 1300 *m* — $8^2/_3$ *min;* jeżeli obciążenie spadnie do połowy, to czas ten wzrośnie do 17 *min*. Te okresy czasu w porównaniu z okresami regulowania silnika są bardzo znaczne.

Ciśnienie pompy zasilającej w strefie podgrzewania przenosi się prawie momentalnie przez słup wody (z szybkością głosu 1000 *m/s*), więc przy zmniejszonem obciążeniu ilość wody zasilającej będzie się jeszcze powiększać.

Od obciążenia kotła musi być uzależniona ilość wywiązanego ciepła w palenisku i doprowadzanej wody zasilającej, a dostosowanie ruchu kotła do zmienionych warunków pracy, powinno nastąpić przy zachowaniu tej samej temperatury pary uchodzącej z kotła. Impulsem do regulacji musi być więc przekroczenie temperatury przegrzania pary lub niedociągnięcie do wartości normalnej. Doświadczenia wstępne wykazały, że chwilowy przyrost temperatury na pewnym odcinku rury, podaje już przybliżoną miarę nadmiaru ciepła i przyjęto jako impuls do regulacji kotła nie samą różnicę temperatur przegrzania pary na wyjściu z kotła, lecz zmianę tej temperatury w czasie t. j. różniczkę dT/dz.

Do przeniesienia impulsów regulacji zastosowano przeniesienie hydrauliczne za pośrednictwem oliwy pod ciśnieniem.

Urządzenie do regulacji tego kotła składa się z następujących głównych elementów.

Termostat t. j. przekaźnik temperatury na odległość. Różnica wydłużenia prostego kawałka rury ogrzewanej o długości 2600 *mm* i sztaby ze stali „Inwar" (spółczynnik wydłużenia 10^{-6}) tej samej długości o temperaturze otoczenia, daje początkowy impuls regulacji i wywołuje zmianę ciśnienia oliwy w przekaźniku w ten sposób, że wzrost ciśnienia odpowiada podwyższeniu się temperatury ogrzewanej rury. Tak nastawione ciśnienie oliwy w przekaźniku termostatu daje impuls właściwym organom sterującym.

Regulator różniczkowy otrzymuje impuls od termostatu i zależnie od chwilowej temperatury przegrzania (dT/dz), wpływa na ilość doprowadzanej wody zasilającej. Konstrukcyjnie rozwiązane to jest w ten sposób, że pod wpływem zmian temperatury ogrzewanej rury, ciśnienie oliwy z termostatu posuwa w cylindrze tłok, który wypycha wzgl. ssie przez otwór dławiący zawartość oliwy w cylindrze. Ciśnienie tej oliwy, przez suwak sterowy, działa na regulator wody zasilającej. Wpływ absolutnej wartości temperatury przegrzania jest przytem również uwzględniony, a mianowicie ciśnienie oliwy z termostatu, niezależnie od poprzedniego działania, oddziaływa na suwak sterowy regulatora różniczkowego i wywołuje zmianę ciśnienia oliwy wysyłanej jako impuls dla regulatora wody zasilającej. Ciśnienie oliwy, wychodzącej z regulatora różniczkowego, jest więc w każdej chwili równe sumie ciśnienia, pochodzącego od absolutnej wartości temperatury ogrzewanej rury i od ciśnienia wywołanego zmianą tej temperatury w czasie t. j. od dT/dz.

Regulator wody zasilającej z izotermicznem odwodzeniem otrzymuje impuls od regulatora różniczkowego, którego ciśnienie oliwy oddziaływuje na igłę regulującą nadmiar ilości wody zasilającej, odprowadzanej do przewodu ssącego.

Zapomocą zwykłych kurków pozostawiona jest też możliwość ręcznego regulowania ilości doprowadzanej wody zasilającej do kotła.

Ze względu na podany niżej sposób uruchamiania i wyłączania kotła jednorurowego, okazało się konieczne obok zaworu prowadzącego parę do turbiny, ustawienie jeszcze zaworu obiegowego, kierującego parę bezpośrednio do kondensatora wysokiego ciśnienia.

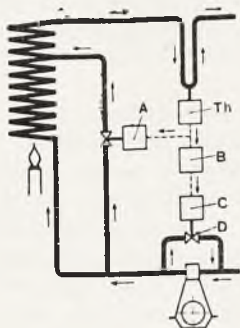
Urządzenie do regulowania ciśnienia w kotle składa się zatem z dwuch zaworów, prowadzącego parę do turbiny i do kondensatora, a każdy z nich jest regulowany przez suwaki sterowe. Impuls do regulacji daje ciśnienie pary, które w przekaźniku zmienia ciśnienie oliwy idącej do suwaków, sterujących zawory. Regulacja jest przytem tak nastawiona, że przy normalnym ruchu kotła, zawór obiegowy (prowadzący parę do kondensatora) jest otwarty całkowicie, a ciśnienie pary regulowane jest otwarciem zaworu prowadzącego parę do turbiny.

Przewidziane jest również zabezpieczenie turbiny przed uderzeniem wodnem. Mianowicie impuls do wyłączenia turbiny daje ciśnienie oliwy z termostatu, które przy temperaturze pary 350° C zamyka zawór doprowadzający parę do turbiny.

We wszystkich częściach urządzenia regulującego występują w ruchu nieznaczne wahania ciśnienia oliwy, które podnoszą czułość samej regulacji i usuwają niebezpieczeństwo zacinania się ruchomych części.

Podane wyżej zasadnicze elementy regulacji, mogą być zastosowane w połączeniu w/g (rys. 1) względnie w/g (rys. 2). W instalacjach o dużej ilości kotłów i maszyn, wahania obciążenia zwykle nie przekraczają 20—30% normalnej wydajności kotła i w tych wypadkach może być zastosowany układ, przedstawiony na (rys. 1). Termostat (*d*) umieszczony na końcu rury kotła, działa bezpośrednio na regulator wody wtryskiwanej (*a*) oraz na regulator różniczkowy (*b*), a ten ostatni dopiero wpływa na regulator wody zasilającej (*c*).

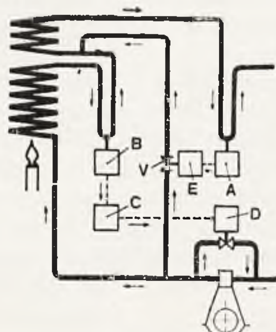
Układ regulacji kotła w/g (rys. 2) jest przewidziany dla zakładów, w których konieczna jest również dokładna regulacja przy dużych i gwałtownych zmianach obciążenia. Oprócz termostatu końcowego (*d*) wprowadzono tu przed miejscem wtryskiwanej wody do kotła, drugi termostat, który działa na regulator różniczkowy (*b*) i na regulator wody zasilającej (*c*). Ponieważ elementy regulujące (*b*), (*c*) i (*e*) otrzymują impulsy znacznie opóźnione, powodują one regulowanie wstępne, a do tego dochodzi regulowanie dokładne — termostat końcowy (*d*) działa na regulator wody wtryskiwanej (*a*).



Rys. 1

a — regulator wody wtryskiwanej ze stałem odwodzeniem,
b — regulator różniczkowy,
c — regulator wody zasilającej z izotermicznem odwodzeniem,
d — termostat,
e — zawór obiegowy wody zasilającej.

Podczas właściwych badań regulacji kotła jednorurowego, temperatura i ciśnienie były mierzone w 9 punktach rury kotła. Przed wtryskiem wody zasilającej i na końcu rury, temperatura była rejestrowana samopiszącemi termometrami, a ciśnienia — indikatorami z taśmą ruchomą. Ciśnienie oliwy regulującej obu termostatów rejestrował włączony na zmianę indikator z taśmą ruchomą. Odczytywano również położenie tłoka regulatora wtryskiwanej wody, regulatora wody zasilającej oraz otwarcia zaworu obiegowego, prowadzącego parę do kondensatora.

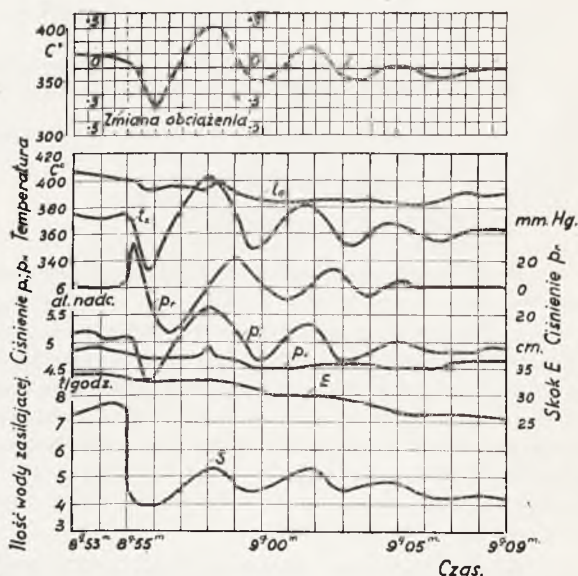


Rys. 2

a — regulator wody wtryskiwanej z odwodzeniem izotermicznem,
b — regulator różniczkowy,
c — regulator wody zasilającej z odwodzeniem izotermicznem,
d — termostat końcowy,
e — termostat pośredni.

Gwałtowne zmiany obciążenia kotła stwarzano przez odstawianie dwuch palników na ropę, które razem mogły wytwarzać 4 *t/godz* pary. Ilość wody zasilającej nastawiano tymczasowo ręcznie, pozostawiając urządzeniu regulującemu wyrównanie odchylenia od stanu równowagi. Podczas większej ilości przeprowadzonych badań, do wytworzenia zasadniczego obciążenia 3,5 ÷ 4 *t/godz* pary, kocioł opalano węglem. Turbina przy tych badaniach była wyłączona, a cała ilość pary przepływała przez zawór obiegowy do kondensatora wysokiego ciśnienia.

Wyniki badania regulacji w/g układu podanego na (rys. 2) i przy włączonem urządzeniu do regulowania ciśnienia, podaje (rys. 3). Obciążenie kotła 7,6 *t/godz* pary zmniejszono na 4,3 *t/godz* t. j. ze 100% na 57%, podczas ręcznie nastawionej ilości wody zasilającej 4,6 *t/godz*. Jak widać z (rys. 3), wyłączenie obu palników zaznacza się ostrym spadkiem temperatury z 370 na 330° C, który zmniejsza ilość wody zasilającej do 3,8 *t/godz*, a to pociąga za sobą podniesienie się temperatury pary przed wtryskiem, która dla najmniejszej ilości wody zasilającej dosięga 400° C. Potem regulacja powtarza się z malejącemi wahaniami i po ~ 15 *min* osiąga stan równowagi między temperaturą pary przegrzanej i ilością doprowadzonej wody do kotła.



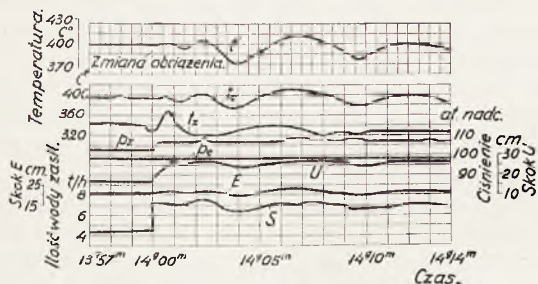
Rys. 3

Krzywe regulacji kotła dla układu w/g (rys. 2) podczas zmniejszenia obciążenia z 7,6 na 4,3 *t/godz* pary.

t_e — temperatura pary na wyjścia z kotła,
t' — temperatura w miejscu termostatu pośredniego,
t_z — temperatura przed miejscem wtrysku wody,
p_I — ciśnienie oliwy regulującej z termostatu pośredniego,
p_{II} — ciśnienie oliwy regulującej z termostatu końcowego,
p_r — ciśnienie oliwy regulatora różniczkowego,
E — skok tłoka zaworu wtryskowego,
S — ilość wody zasilającej.

Praca poszczególnych elementów urządzenia regulującego kocioł, okazała się bez zarzutu, co jeszcze potwierdziły dalsze badania regulacji podczas wzrostu obciążenia z 63% na 100% (z 4,4 na 7,0 *t/godz*) i również przy tymczasowo ręcznem nastawieniu ilości wody zasilającej 6,5 *t/godz*.

Wyniki badania regulacji dla układu wskazanego na (rys. 1), podczas włączonego urządzenia regulującego ciśnienie, podaje (rys. 4). Obciążenie w tym wypadku zostało zwiększone z 4,4 na 7,0 *t/godz*, a ilość wody zasilającej, nastawiona ręcznie, wynosiła 7,3 */godz.* Dla tego układu wahania temperatury strumienia pary przed miejscem wtrysku wyniosły od +30° do — 20°, a pary uchodzącej z kotła od — 24° do + 16°. Odchylenia te są już znaczniejsze, niż w wypadku regulacji w/g (rys. 2) i praktycznie nieuniknione.



Rys. 4

Krzywe regulacji kotła dla układu w/g (rys. 2) podczas zwiększenia obciążenia z 4,4 na 7,0 *t/godz* pary.

t_e — temperatura pary na wyjściu z przegrzewacza,
t' — temperatura w miejscu termostatu końcowego,
p_e — ciśnienie pary na wyjściu z przegrzewacza,
t_z — temperatura pary przed miejscem wtrysku wody,
p_z — ciśnienie pary przed miejscem wtrysku wody,
U — skok tłoka zaworu obiegowego.
E — „ „ „ wtryskowego,
S — ilość wody zasilającej.

Przeprowadzono również badania regulacji kotła (w/g układu na rys. 1) dla stopniowego wzrostu wzgl. spadku obciążenia, a mianowicie w przeciągu 6 *minut* zwiększono obciążenie o 46% czterema skokami, każdy po 11,5% obciążenia. W praktyce, takie skoki są przekraczane już tylko w wyjątkowych wypadkach. Największe wahanie temperatury w miejscu wtryskiwania, wynosiło + 34°, a na wyjściu pary z kotła + 27° C. Trzeba przyznać, że wartości te, dla takich zmian obciążenia, są zupełnie zadawalające.

Bardzo ciekawe otrzymano wyniki przy wyłączonem urządzeniu regulującem ciśnienie pary. Nadzwyczaj mała zawartość wody w kotle, która dla 100 *atn* i pełnego obciążenia wynosi zaledwie ~ 760 *kg*, nasuwała poważne obawy, że podczas gwałtownego wzrostu obciążenia powstanie możliwość przepalenia rury kotła. Przypuszczano, że tego rodzaju kocioł nie da się połączyć z turbiną, posiadającą własną regulację ilości zapotrzebowanej pary. Doświadczenia jednak, podczas gwałtownych wahań obciążenia wykazały, że obawy te są nieuzasadnione. Badania te przeprowadzono w ten sposób, że przy układzie regulacji w/g (rys. 2), otwierano w określonym czasie zawór obiegowy, aby umożliwić ujście dużej ilości pary do kondensatora. Mianowicie po zapaleniu dodatkowo dwuch palników i nastawieniu ilości wody zasilającej na 7,2 *t/godz,* zwiększono obciążenie przez podniesienie zaworu obiegowego z 4,3 na 7,7 *t/godz,* a po 9 minutach obciążono kocioł z 7,7 na 4,8 *t/godz* pozostawiając ruch kotła urządzeniu regulacyjnemu. Okazało się, że temperatura, przed miejscem wtryskiwania wody, wahała się od + 20° do — 18° C podczas wzrostu obciążenia, a podczas odciążenia od — 23° do + 8° C. Temperatura pary na wejściu z kotła wahała się przy wzrastającem obciążeniu tylko o + 10° C, a podczas odciążenia o — 14° C. Ciśnienie przed zaworem obiegowym spadło z 98 na 90 *atn* i po 1,5 *min* podniosło się znowu na 98 *atn.*

Jeszcze gorsze warunki pracy kotła stworzono w ten sposób, że przy wydajności 4,8 *t/godz* pary i wyłączonym regulatorze ciśnienia, otworzono gwałtownie zawór obiegowy, nie zmieniając przytem intensywności ognia, ani ilości doprowadzanej wody zasilającej i pozostawiono kocioł działaniu urządzenia regulacyjnego. W tym wypadku, ciśnienie pary na wyjściu z kotła spadło w przeciągu 3 *min* z 98 na 62 *atn*, a pozostałe wielkości dostosowały się do nowego stanu równowagi z nieznacznemi wahaniami. Okazuje się, że nawet tak gwałtowne obniżenie ciśnienia nie jest niebezpieczne dla tego kotła, a regulacja opanowuje dobrze nawet tak znaczne chwilowe skoki obciążenia.

Uruchamianie kotła jednorurowego odbywa się w sposób następujący. Po otwarciu zaworu obiegowego, początkowo pompa zasilająca przetłacza mieszaninę wody i pary do zbiornika zasilającego, gdzie para kondensuje się i nawet przy uruchamianiu można już kocioł pozostawić urządzeniu regulującemu.

Podczas wyłączania kotła, po zmniejszeniu intensywności ognia i przy określonym spadku temperatury pary, zostaje zamknięty zawór doprowadzający parę do turbiny. W kotle następuje wtedy chwilowy wzrost ciśnienia, który po przekroczeniu 2 *atm* otwiera samoczynnie zawór obiegowy, a odpływająca nieznaczna ilość pary kondensuje się w zbiorniku wody zasilającej. Ponieważ pompa zasilająca jest jeszcze czynna wraz z całem urządzeniem regulującem, rura kotła i obmurze ochładzają się szybko i kocioł zostaje całkowicie napełniony wodą.

Według prof. Stodoli, daje się osiągać taką samą sprawność tego kotła dla wysokich ciśnień, jak w zwykłych kotłach wodnorurowych, a jej wartość zależy od wielkości poszczególnych powierzchni ogrzewalnych, zwłaszcza podgrzewacza. Kocioł jednorurowy może być zastosowany również dla niskich ciśnień, bo przez odpowiedni dobór średnic rur, można zmniejszyć spadek ciśnienia w kotle oraz zużycie mocy pompy zasilającej.

A. W.